

05-025

GIS CARTOGRAPHIC ANALYSIS FOR THE STUDY OF PHOTOMETRIC QUALITY PARAMETERS AND PROTECTION OF THE NIGHT SKY IN PUBLIC LIGHTING FACILITIES

Navarrete-Gálvez, Enrique; Sintas Checa, Blanca; Andrés-Díaz, José Ramón; Gago-Calderón, Alfonso

Universidad de Málaga

LED technology has become the reference solution for public lighting facilities. This is due to its great light and energy efficiency and also for its capacity to generate white light with great chromatic versatility. The latter contrasts with the homogeneous and fixed photometric emission schemes of conventional discharge lamp technologies.

The progressive replacement of light points in municipalities with LED luminaires, in many cases, by different manufacturers and characteristics and the transition period in which they coexist with sodium-vapor and metal halide lamps are creating environments with a significant heterogeneity spectral that is expressed in different measures of color temperature values and color rendering index (CRI) in adjoining streets or even within themselves along their route.

In this work, the results of applying a methodology of detailed analysis of lighting installations using a Geographic Information System (GIS) applied to the city of Malaga are collected. This cartographic database allows to analyze and evaluate the photometric parameters of urban lighting facilities, even dynamically over time, and establish: homogeneity faults, futures work patterns and equipment selection and the analysis of the regulatory light quality and protection of the night sky standards.

Keywords: *Geographic Information System (GIS); LED technology; Color Rendering Index (IRC); Correlated Color Temperature (CCT)*

ANÁLISIS CARTOGRÁFICO SIG PARA EL ESTUDIO DE CALIDAD FOTOMÉTRICA Y PROTECCIÓN DEL CIELO NOCTURNO EN INSTALACIONES DE ALUMBRADO PÚBLICO

La tecnología LED se ha convertido en solución de referencia en alumbrado público debido a su gran eficiencia lumínica y energética y, también, por su capacidad de generar luz blanca con gran versatilidad cromática. Esto último contrasta con los esquemas de emisión fotométrica fijas de las tecnologías convencionales de descarga.

La sustitución progresiva de puntos de luz en municipios por luminarias LED, en muchos casos, de fabricantes y características diferentes y el periodo de transición donde conviven con vapor de sodio y halogenuros metálicos están creando entornos con una significativa heterogeneidad espectral que se expresa en medidas diversas de valores de temperatura de color correlacionada (TCC) y de índice de reproducción cromática (IRC) en calles colindantes o a lo largo de las mismas.

En este trabajo se recogen los resultados de aplicar una metodología de análisis de instalaciones de alumbrado usando un Sistema de Información Geográfica (SIG) aplicado en la ciudad de Málaga. Esta base de datos permite analizar y evaluar los parámetros fotométricos de estas instalaciones, incluso de manera dinámica en el tiempo, y establecer: fallos de homogeneidad, pautas de selección de equipos para ampliaciones y análisis de cumplimiento de normativas de calidad lumínica y protección del cielo nocturno.

Palabras clave: *Sistema de Información Geográfica (SIG); Tecnología LED; Índice de Reproducción Cromática (IRC); Temperatura de Color Correlacionada (TCC)*

Correspondencia: Enrique Navarrete de Galvez. endg@uma.es



©2019 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

Las instalaciones de alumbrado público son una infraestructura significativa de cualquier municipio, y por tanto requiere de una gestión eficaz y eficiente, es por ello, que el uso de tecnologías de gestión “es un tema que despierta un gran interés tanto en las empresas desarrolladoras de software como en las compañías eléctricas y los organismos públicos” (Vargas Guevara, Rodríguez Mora, Guamán Molina, & Ríos Villacorta, 2017, pág. 59), dado que éstas, representan un apartado muy significativo por sus elevados costes de operación, mantenimiento, ambientales así como por el hecho de que son una referencia importante de cómo perciben los ciudadanos el grado de desarrollo de sus núcleos de población al representar la calidad de vida que ofrecen (seguridad ciudadana y vial, sostenibilidad medioambiental, imagen estética...). Según especifican Lara, E. L., Simeón, C. P., & Navarro, J. G. M. (2004), la Comunidad Andaluza viene usando los SIG al menos desde el 2004 (año de la publicación) en la gestión de medio ambiente y recursos naturales, catastro, redes de infraestructuras, transporte, protección civil, planificación urbana, etc. (Rediam, SIGMA, Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía, Catastro, etc.), es por tanto como vemos un instrumento que se asienta cada vez con más fuerza en la gestión de nuestras comunidades y municipios, y que requieren de profesionales formados en este campo para su gestión, si consideramos las conclusiones expuestas por Álvarez & Cordeo, (2002), referentes a la aplicación SIG al PGOU de Cáceres, podemos afirmar que estos sistemas son una herramienta de gran utilidad, cuyo éxito radica en su uso por el personal de gestión, así como de su actualización constante, y que para su caso concreto resultó un rotundo éxito que abrió camino a nuevas ampliaciones.

En este contexto, como vemos, es de interés el desarrollo de herramientas específicas que permitan tomar decisiones estratégicas en la gestión, desarrollo y renovación de estas instalaciones. A lo largo del trabajo se analizarán los diferentes parámetros lumínicos que son:

- A. de obligado control para verificar el cumplimiento normativo asociado a las mismas:
 - Requisitos de niveles de iluminación y eficiencia energética (En España, el Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus Instrucciones técnicas complementarias EA-01 a EA-07 aprobado por el Real Decreto 1890/2008)
 - Elementos vinculados a la protección del cielo nocturno y a la reducción de la contaminación lumínica (en España regulado por reglamentos propios de las comunidades autónomas, siendo la más desarrollada y antigua la Ley sobre la Protección de la Calidad Astronómica aprobada el 31 de octubre de 1988 por el Parlamento Español)
 - Requisitos exigibles a las instalaciones de alumbrado público por parte de las autoridades públicas (En España, requisitos fijados en el año 2019 por el Ministerio para la Transición Ecológica)
- B. Elementos no sujetos a normas pero que implican elementos prácticos notables en la percepción de los resultados de estas instalaciones de iluminación:
 - Desarrollo de una homogeneidad urbana de los aspectos visibles que las personas perciben de las instalaciones de alumbrado público (temperatura de color, Índice de reproductividad cromática, ...)

Para ello se propone desarrollar una metodología de análisis a partir de la creación de base de datos de parámetros luminotécnicos vinculados a los apartados anteriores sobre un elemento de clasificación u ordenación de los datos de naturaleza cartográfica mediante la metodología de los Sistemas de Información Geográficas o (SIG) que incorpore todos los datos necesarios para efectuar con garantías y eficacia dicha labor.

1.1. Sistemas de Información Geográficas (SIGs)

Los Sistemas de Información geográfica son una herramienta para almacenar y gestionar información usando un soporte de referencia en el que los datos se asocian a una localización específica. El uso de los SIG, sobrepasa la mera capacidad de almacenar información, permitiendo presentarla visualmente de numerosas formas a partir de estructuras de búsqueda o superponiéndola sobre diferentes cartografías y tratarla estadísticamente apoyada en estos soportes. Este tipo de interfaz facilitará la inferencia de conclusiones relevantes que de otra manera serían más costosas de identificar o detectar.

La tecnología SIG permite una gestión más eficaz y eficiente de recursos y servicios de las administraciones locales: “se calcula que el 80% de la información y datos que manejan los ayuntamientos son georreferenciables” (Coll, Martínez-Llario, Femenia-Ribera, & Mora-Navarro, 2010, pág. 9). Por esta razón, una mayoría de Ayuntamientos a nivel europeo ya tienen implantando o están en proceso de implantación de estos sistemas de almacenamiento y gestión de datos, y vienen usándolos según especifican Coll et al. (2010), para la gestión de licencias actividades, la concesión de licencias de obra, aspectos catastrales, servicios de electrificación, alcantarillado, abastecimiento, ...

Un caso particular, que nos interesa destacar, dado que guarda una estrecha relación funcional y de interpretación con el objeto del presente texto al tratar temas relacionados con la contaminación ambiental, son los mapas de ruido, un tipo de SIG de una naturaleza similar al que desarrollamos en este trabajo, pero en nuestro caso sobre parámetros luminotécnicos.

1.2. Parámetros luminotécnicos

Los principales parámetros luminotécnicos vinculados con exigencias normativas que son candidatos a incluir en el estudio son:

- **Iluminancia (lux):** parámetro medido con luxómetro, definido en el RD 1890/2008 de 14 de noviembre como la relación entre la cantidad de flujo luminoso $[I(c, Y)]$ incidente sobre una superficie y el valor de total de esta sobre una separación entre la fuente de luz y la superficie $[h]$, las variables que afectan a este valor quedan definidas en la ecuación 1.

$$E = \frac{I(c, Y) \cdot \cos^3 Y}{h^2} \quad (1)$$

- **Luminancia (cd/m^2):** parámetro medido con luminancímetro, definido en el RD 1890/2008 de 14 de noviembre como la intensidad luminosa $[I(c, Y)]$ reflejada por unidad de superficie hacia el ojo del observador $[r]$, las variables que afectan a este parámetro quedan definidas en la ecuación 2.

$$L = \frac{I(c, Y) \cdot r(\beta, tgY)}{h^2} \quad (2)$$

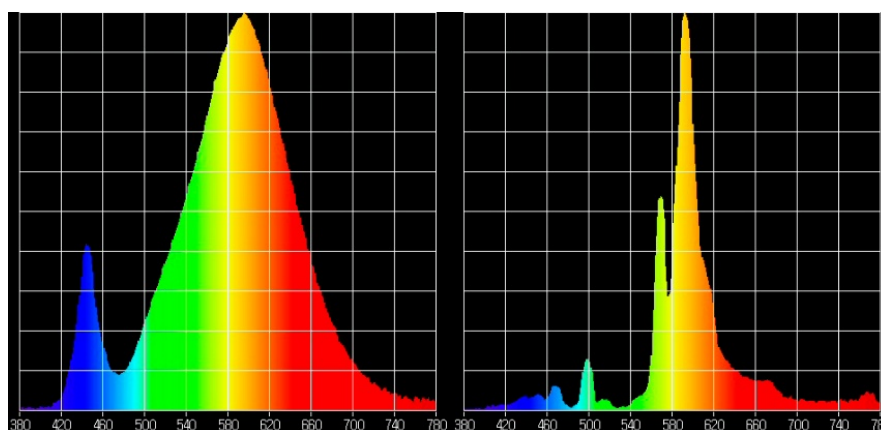
- **Deslumbramiento:** El deslumbramiento en la vía pública es un parámetro relevante, dada su influencia en la seguridad vial, determina la merma de visión ocasionada por la iluminación del conjunto de luminarias que alumbran la calzada del tramo estudiado. La causa de este deslumbramiento es el aumento del contraste. Su estimación no resulta trivial, dado que afectan incluso factores función de la edad del conductor.
- **Temperatura de color:** tal y como indican Sanjuán Sánchez et al. (2018), se identifican coloquialmente tres rangos de temperatura de color para clasificar a la luz blanca: cálida (por debajo de los 3300K), neutra (entre 3300K y 5000K) y fría (por encima de los 5000K). (Gandolfo de Luque, 2011). “La sensación visual en una instalación realizada con luz blanca es mayor que con luz amarilla. Existe una correlación entre luz blanca y el incremento de la visión periférica (S. Blumtritt, 2004)”. A colación de la aseveración anterior, podríamos afirmar que una buena temperatura de color para nuestras vías

públicas será aquella que esté sobre los 5000K, no obstante, como se indica en el punto de luz azul más adelante del presente escrito, las emisiones en el rango de longitudes de onda por debajo de los 500 nm (la que se corresponde con dichos valores de temperatura según Ley de desplazamiento de Wien), presenta inconvenientes, algunos de los cuales serán indicados en el mencionado punto, es por ello que Premium Light Pro recomienda “Temperatura de color para las áreas domésticas y principalmente las áreas peatonales igual o inferior a 3000K y Temperatura de color de las carreteras principales, autopistas y áreas con tráfico mixto igual o inferior a 4000K” (Premium Light Pro, 2018, pág. 36), en cualquier caso habrá que tomarse con reservas este tipo de recomendaciones, requiriéndose un estudio concreto para cada caso. En el referenciado artículo se indica que no sólo es importante la temperatura de color sino también lo es la reproducción cromática.

- **CRI (Índice de reproducción cromática):** La mejora visual no es solo cuestión de la temperatura, el presente parámetro también tiene una gran influencia en dicho aspecto, es uno de los que usamos para determinar la calidad de la luz, se obtiene por comparación con una referencia, y tiene una valoración que va de 0 a 100. Para entender bien este concepto es importante no perder de vista la naturaleza de la luz, la fracción de onda electromagnética en el rango que va de los 400 a los 700 nanómetros aproximadamente, y la forma en la que percibimos los colores, así pues, cuando vemos algo azul, es porque ese elemento absorbe todas las longitudes de onda y refleja la que corresponde al azul, por tanto la luz que le llega debe llevar ese azul en su espectro de emisión, en caso contrario no refleja nada y el objeto se vería negro. A modo de ejemplo, diremos que, de las mediciones hasta ahora tomadas en el desarrollo de nuestro estudio, revela un mejor CRI de las luces LED que otro tipo de tecnologías.

Como podemos ver en la figura 1, el espectro de la luminaria LED, muestra un mayor porcentaje de radiación en la gran mayoría de las longitudes de onda que el mostrado por la luminaria de vapor de sodio a alta presión, y en consecuencia, tiene un mayor CRI, lo que permite una mejor identificación de los colores de los elementos que configuran la zona de vía pública a la que dan servicio estas luminarias, o lo que es lo mismo, aumenta nuestra percepción del mobiliario y otros elementos que estén o puedan estar en ésta en un momento determinado (personas, señales, irregularidades del pavimento, etc.).

. **Figura 1: Espectro emisión de una luminaria LED (3.000K) [izquierda] y de una lámpara de vapor de sodio de alta presión [derecha]**



1.3. Luz azul

Es actualmente conocido que los ciclos biológicos, se ven afectados por la exposición a la luz durante el periodo nocturno, “una de las consecuencias fisiológicas directas de la exposición

a luz nocturna es la supresión de la síntesis de melatonina” (Baño Otalora, pág. 3), esta afectación será mayor o menor en función de distintos parámetros entre los que se encuentra la emisión en el rango de los azules comprendido entre los 460-480 nm, esta influencia no está limitada a los seres humanos, sino a muchos otros seres vivos y en consecuencia el perjuicio no es sólo a nivel de personas, sino de medioambiente, incluida también la contaminación del cielo nocturno, es por ello que algunas normativas autonómicas ya recogen estos aspectos, y limitan las emisiones en esas longitudes de onda, esta es una cuestión ya tomada en cuenta por las normativas sobre alumbrado más avanzadas (Herranz Dorremocha, Ollé Martorell y Jáuregui Sora, 2011, pág. 39) este es el caso del Real Decreto 243/1992, de 13 de marzo, por el que se aprueba el Reglamento de la Ley 31/1988, de 31 de octubre, sobre protección de la calidad astronómica de los observatorios del Instituto de Astrofísica de Canarias, en cuyo artículo 7, no admite más de un 15% de la emisión por debajo de los 440 nm, en esta misma línea pretende legislarse próximamente en la Comunidad Andaluza incluyendo el índice G como parámetro de control (Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible, 2018).

2. Objetivo

El objetivo del presente trabajo es desarrollar un SIG en el que se incluyan luminancias, iluminancias, CRI, temperaturas de emisión, espectros de emisión, etc. en las distintas calles de Málaga, el cual nos permita evaluar la homogeneidad espectral, niveles de emisión de luz azul, iluminancia media, consumos, deslumbramientos y otros aspectos relacionados con la disciplina de la iluminación, y no sólo eso, sino también aplicar las distintas herramientas estadísticas y gráficas de análisis incluidas en el software de gestión del SIG a la bases de datos, con idea de obtener información relevante para la toma de decisiones acerca de nuestras instalaciones de iluminación municipales.

3. Metodología

Para el desarrollo del trabajo propuesto es necesario como equipo de medida un espectrómetro lumínico con el que poder tomar medidas de los parámetros establecidos en las diferentes calles y espacios de la ciudad donde se quiere implementar el SIG. En nuestro caso el equipo usado para la toma de datos es un espectrómetro de mano modelo MK350S, de la casa comercial UPRtek, con capacidad para medir temperatura de color correlacionada (CCT), el índice de reproducción cromática (CRI), iluminancia (LUX), longitud de onda pico (λ_p), longitud de onda dominante (λ_d) y representación de coordenadas en diagramas de cromaticidad CIE 1931 y CIE 1976.

Por cada entrada o punto de medida el equipo guarda una imagen como toda la información que registra presentada en tablas y diagramas para facilitar su comprensión (como la mostrada en la figura 2), una fotografía del punto real de medida y un archivo de datos XML con todos los parámetros de la medición en formato tabla de texto según la naturaleza del formato.

Los pasos seguidos para el desarrollo del trabajo se detallan en la siguiente enumeración:

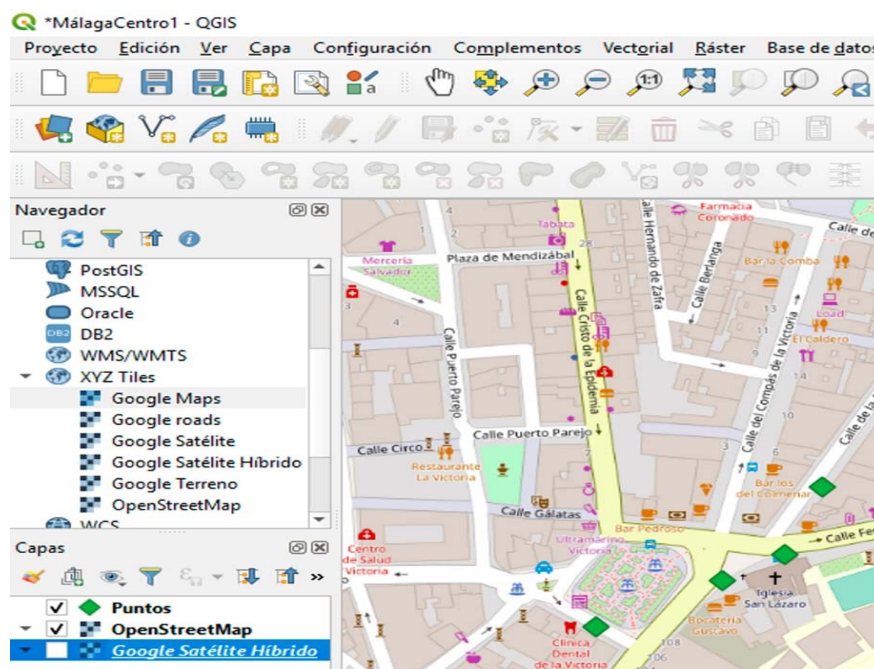
- **Toma de datos:** El proceso de toma de datos empieza con la planificación de las vías a medir, posteriormente imprimimos en A3 a escala 1/1000 dicha zona, decidimos el punto de inicio, lo identificamos en el plano, nos colocamos en el eje central de la calzada y con el espectrómetro a una altura de 1,5 m hacemos la medida, guardamos la imagen en el equipo y apuntamos el nombre del archivo en el punto del plano donde fue tomado y así proseguimos hasta completar el programa propuesto para la salida de campo.

Figura 2: Parámetros medidos por el equipo UPRtek MK350S



- **Selección de SIG:** Se ha tomado la decisión de usar el paquete de desarrollo QSIG3.4. Su elección frente a otras propuestas del mercado se ha realizado en base a considerar más intuitiva su interface y al hecho de tener integradas un elevado número de funciones propias de importación de bases cartográficas y de análisis y procesado de la información introducida (otras propuestas requieren de aplicaciones que se instalan sobre el programa base). Finalmente es destacable que es un software gratuito y de código abierto.
- **Introducción de datos en el SIG:** Los datos incorporados y que posteriormente podrán ser consultados y utilizados por el software son la posición geográfica de los puntos de medición, la imagen de datos (temperatura de color correlacionada (CCT), el índice de reproducción cromática (CRI), iluminancia (lux), longitud de onda pico (λ_p), longitud de onda dominante (λ_d) y representación de coordenadas en diagramas de cromaticidad CIE 1931 y CIE 1976), el Excel generado por el espectrómetro y la fotografía (en cualquier caso más información de la que usaremos en previsión de nuevos análisis futuros), vemos un ejemplo en las figura 3.

Figura 3: Referencia en QSIG de las mediciones tomadas en el centro de Málaga



En posteriores estudios se incorporarán también valores de deslumbramiento y de luminancia. En estos momentos del trabajo la dificultad de su medición de manera precisa dificulta su inclusión y ralentiza mucho el proceso de adquisición de datos

4. Análisis de resultados

Tras las primeras tomas de medida realizadas en la ciudad de Málaga en campo, centrándonos en una primera fase en el distrito centro área que comprende el núcleo histórico de Málaga caracterizado por sus calles curvas y estrechas, con gran diversidad edificatoria en todos sus sentidos y de tecnologías de iluminación, en una segunda fase en la barriada de Teatinos situada al noroeste de la ciudad, y concretamente dentro de esta barriada en dos sectores, Soliva, zona relativamente nueva de principios del 2010 (posterior a la entrada en vigor del código técnico de la edificación), resultante de la expansión local causada por el crecimiento urbano, en la que se desarrollan nuevos conjuntos residenciales de densidad edificatoria media, edificios con un máximo de PB+4, con amplias zonas de esparcimiento ajardinadas y calles anchas compuestas por acerado y carreteras de dos carriles con disposición de luminaria lateral doble, tecnología de lámpara de vapor de sodio de alta presión, y altura de báculo uniforme, y El Romeral, donde además de estructuras urbanísticas similares a las indicadas para Soliva, existen otras más antiguas con origen en el primer tercio de 1900, las cuales forman parte de la extensión de la ciudad, que se caracterizan por edificaciones de alturas superiores que configuran recintos cerrados, calles en general anchas compuestas por acerado y carreteras de dos carriles con disposición de luminaria a tresbolillo, tecnología de lámpara variable, fundamentalmente LED y vapor de sodio de alta presión, y altura de báculo variable y en una tercera fase en la barriada de Parque Litoral ubicada al oeste de la ciudad donde se desarrollan urbanizaciones nuevas (previas a la entrada en vigor del código técnico de la edificación) de edificios en altura, jardines y otras zonas de esparcimiento, con calles amplias, en general de dos carriles, luminarias dispuestas a tresbolillo, con lámparas de distintas tecnologías fundamentalmente LED y vapor de sodio a alta presión y alturas de báculos variables, tal y como se muestra en las figuras 4 y 5, cada una de estas zonas han sido seleccionadas por ser de las más grandes de la ciudad y las que han sufrido más cambios en la instalación para incorporar luminarias LED, y su introducción en el sistema SIG, se puede realizar una valoración crítica del estado normativo y de calidad de servicio de esta infraestructura en estas zonas.

Figura 4: Captura de pantalla de la vista de pájaro de Google Earth correspondiente a la zona medida de la barriada de Parque Litoral en Málaga.



Figura 5: Parámetros medidos por el equipo UPRtek MK350S en Parque Litoral



De las mediciones tomadas se observa una sensible heterogeneidad de parámetros, a modo de ejemplo se presentan los resultados de la zona de Parque Litoral asociados a las figuras 4 y 5, en las figuras 6, 7, 8 y 9 que siguen.

Figura 6: Tabla de resultados obtenidas de las mediciones realizadas con en barriada Parque Litoral de Málaga correspondientes a un paseo a pie continuo por las vías públicas principales de este sector urbano

	<i>Tª Color K</i>	<i>CRI</i>	<i>Lux</i>	<i>λ_p</i>	<i>λ_d</i>
Vapor Na AP	1945	11,3	19,8	592	486
Vapor Na AP	1953	12,1	30,1	592	486
Vapor Na AP	1974	11	19,8	592	588
Vapor Na AP	1974	15,9	21,1	597	486
Vapor Na AP	1943	16,9	19,3	596	589
Vapor Na AP	2101	29,9	19,4	595	588
LED	2975	76,3	21	595	583
LED	2980	76,7	21,7	602	583
LED	2985	76,8	21,7	599	483
LED	2970	76,4	20,7	602	583
LED	3002	76,6	21,5	595	583
LED	2972	76,3	21,9	596	583
LED	2643	65,1	29,8	597	586
Vapor Na AP	1963	23,1	27,4	597	589
Vapor Na AP	1957	15,9	32,6	597	486
Vapor Na AP	1936	18,7	44,7	597	589
Vapor Na AP	1974	16,8	38,4	597	486
LED	5593	65,7	13,7	434	546
LED	5459	66,3	15,8	435	555
LED	5545	66,1	15	436	550
LED	5478	66	19,3	435	554
LED	5620	66	15,3	435	544
LED	5542	65,9	16,3	435	550
Vapor Na AP	2009	10,2	16,8	591	588
Vapor Na AP	1964	15,2	18	596	486
Vapor Na AP	2007	12,6	17,2	592	588
Vapor Na AP	2081	28,7	20,2	595	588

Figura 7: Gráfica que recoge la evolución de la TCC (K) a lo largo del trazado indicado en la figura 6.

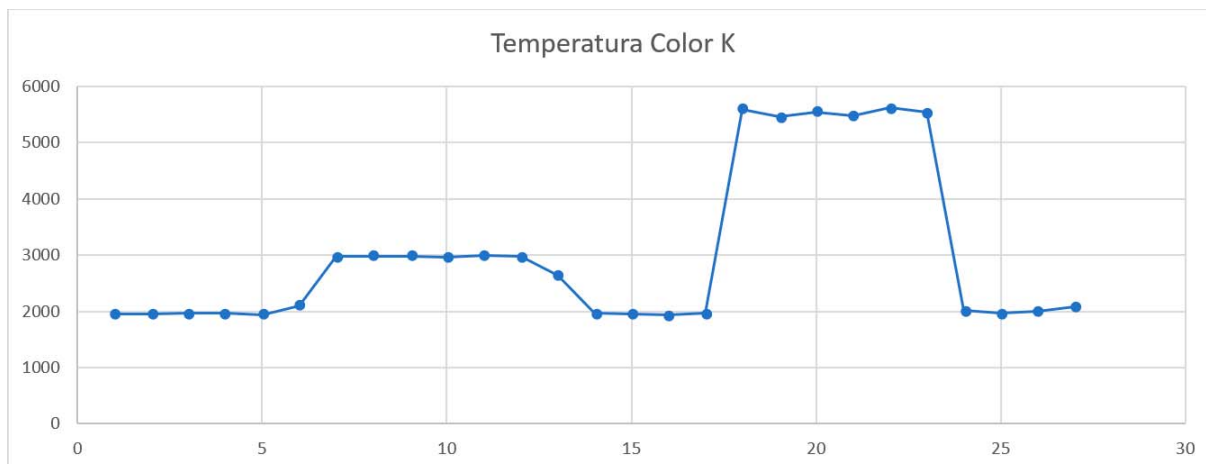


Figura 8: Gráfica que recoge la evolución del CRI a lo largo del trazado indicado en la figura 6.

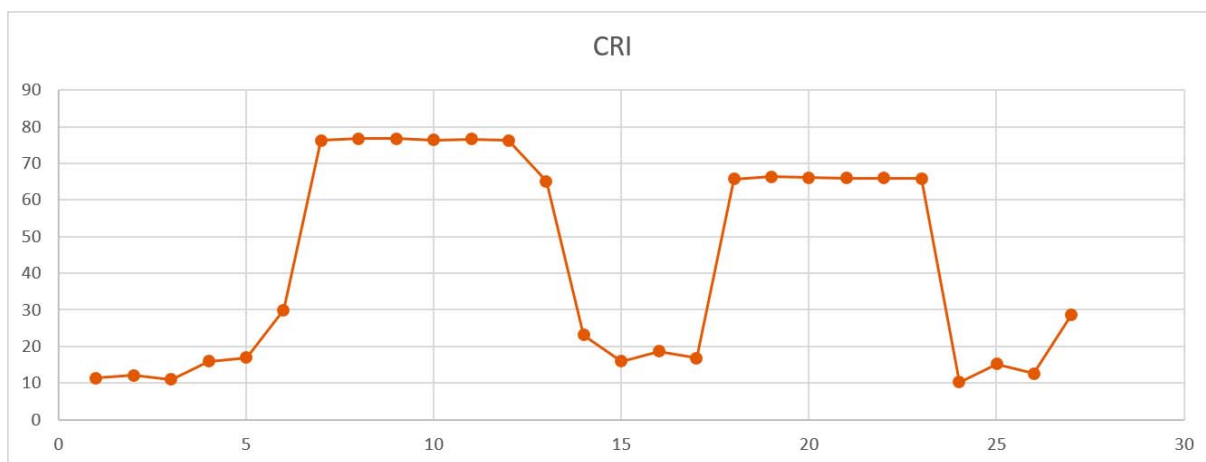
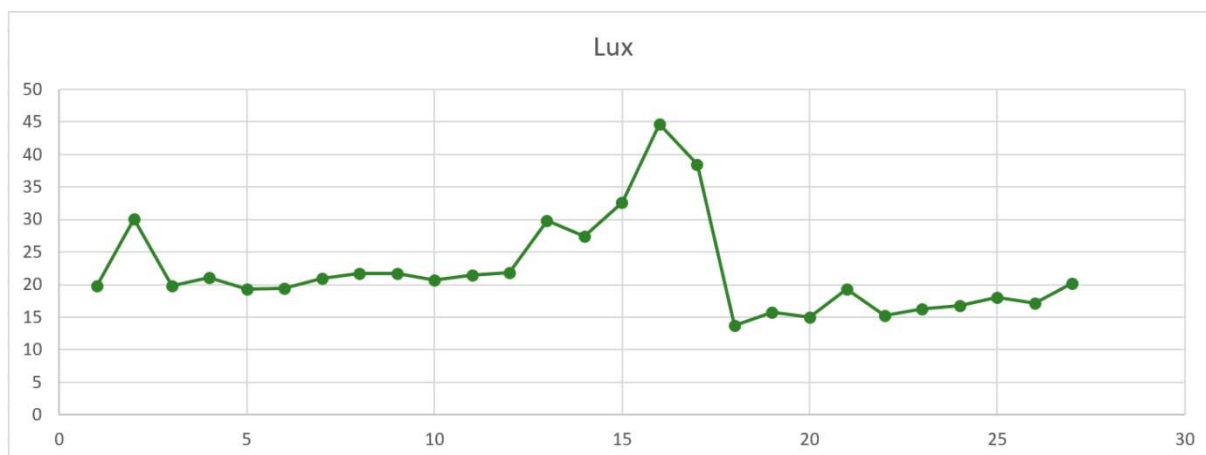


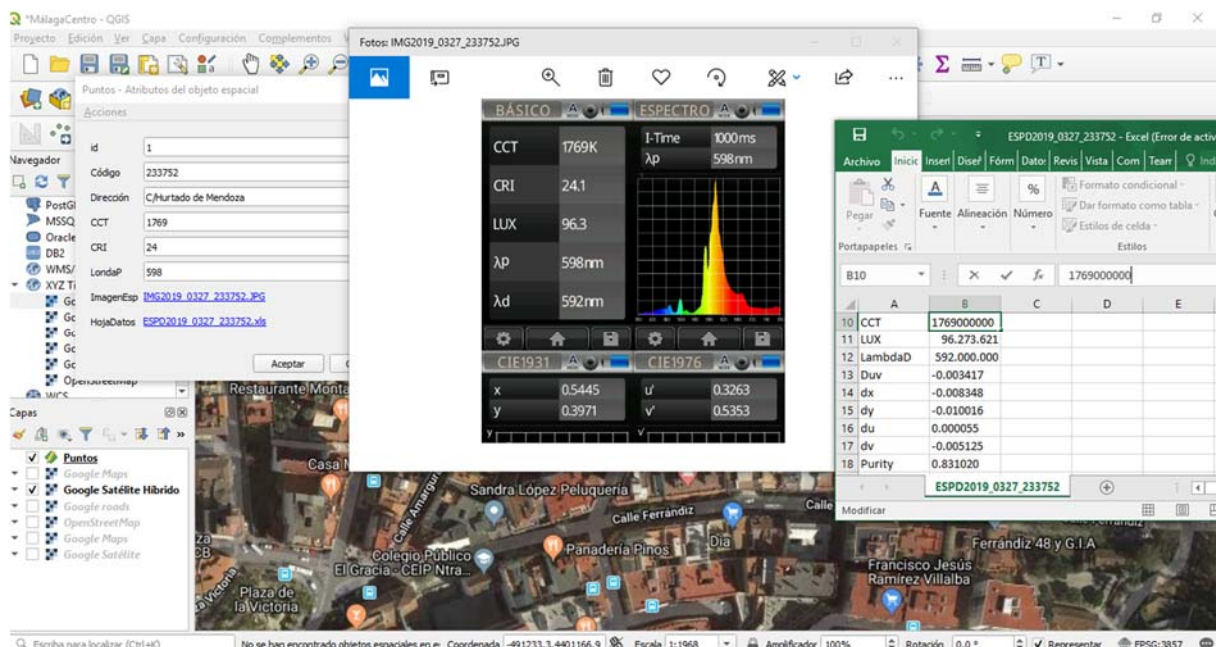
Figura 9: Gráfica que recoge la evolución de la iluminancia (Lux) a lo largo del trazado indicado en la figura 6.



Mas allá de los datos mostrados, el proceso de generación de la plataforma no genera ninguna problemática de relevancia siendo un proceso claramente estructurado y sin dificultades de

ejecución. Ver en la figura 10 un ejemplo de consulta de los datos introducidos para un punto geográfico generado y presentado en el SIG.

Figura 10: Captura de pantalla para ejemplificar la estructura de almacenamiento de datos incluida en cada punto de trabajo del SIG: Datos de texto, imagen de las medidas tomadas por el espectrómetro y el fichero XML con toda información medida y registrada.



Del análisis de esta plataforma generada se detecta, sin ningún tipo de procedimiento específico salvo la mera observación de la interfaz gráfica, como existen diferentes zonas bien delimitadas entre las que se observa una gran heterogeneidad de sus valores lumínicos (verificable en figuras 6, 7, 8 y 9). Esto se debe principalmente a la coexistencia, un tanto anárquica desde el punto de vista de la elección de los puntos de renovación, de equipos integrados por distintas tecnologías lumínicas: vapor de sodio de alta presión, LED (entre 4.500K y 3.000K) y, en menor medida, halogenuro metálico (en zonas con pistas deportivas municipales al aire libre). Residualmente hay focos con otras tecnologías, como bajo consumo, no pertenecientes al alumbrado público en general, sino a comercios de la zona, pero su relevancia en las medidas de los ejes principales de las vías es mayoritariamente muy pequeña.

Sin embargo, también se ha detectado faltas de homogeneidades entre zonas contiguas que usan las mismas tecnologías.

- En menor medida en el caso de vapor de sodio: zonas con lámparas antiguas comparadas con zonas de lámparas más recientes generan no solo cambios en iluminancia sino también en Temperatura de color y en CRI (bajando en este caso los valores ya de por si reducidos en lámparas con más tiempo de uso)
- En algunos casos entre luminarias LED de una manera bastante más marcada. Luminarias de diferentes modelos y fabricantes colocados en calles anexas o contiguas generan parámetros lumínicos de diferente tipo, especialmente en los aspectos de CRI y de temperatura de color. En estos casos, difícilmente se puede usar como justificación el tiempo de uso de las mismas al ser este, de manera generalizada, muy inferior a su tiempo de vida útil.

Un análisis fino de líneas de nivel realizadas por la aplicación ofrece una imagen precisa de zonas homogéneas y no homogéneas y puntos de especial contrastes entre zonas contiguas por cada uno de los parámetros técnicos contemplados y cargados.

Las consecuencias prácticas de esta falta de homogeneidades son varias, por un lado, desde un punto de vista arquitectónico la estética de nuestras vías públicas se ve perjudicada por la generación de contrastes lumínicos y por generarse zonas donde colores iguales a la luz del día se perciben de manera muy diferente bajo el alumbrado nocturno; por otro lado, desde un punto de vista de la seguridad vial, los cambios de contraste detectados pueden influir en el deslumbramiento y, finalmente, los picos de luz azul emitidos por algunas de las luminarias LED favorecen la contaminación lumínica del municipio. Estos superan la norma en los casos donde se han instalado luminarias con lámparas de halogenuro metálico y también llegan a superar la norma algunas luminarias LED con temperaturas de color de más de 5.000K.

5.Conclusiones

A raíz de todo lo expuesto, podemos concluir que el desarrollo de una base de datos de base cartográfica o naturaleza SIG de aspectos luminotécnicos de las instalaciones de alumbrado de las vías públicas es una herramienta de gran importancia para la gestión de estas instalaciones de municipios y ciudades. Es una herramienta de perfil conocido para este tipo de instituciones públicas pero que abarca un rango de trabajo poco desarrollado hasta estos momentos.

Una amplia implementación de variables de medida y consulta son una buena base metodológico para que la base de datos a generar sea una herramienta útil para la mejora de la calidad de estas instalaciones: Temperatura de Color Correlacionada (K), CRI (Ra), iluminancia (luxes), luminancias (cd/m^2), deslumbramiento, etc.) y la evaluación de aspectos fundamentales de la misma como su eficiencia energética, su capacidad de mejora de la seguridad vial y la percepción del entorno por las personas y la seguridad ciudadana relacionada y establecer pautas de control y reducción de la contaminación lumínica (emisiones con longitudes de onda por debajo de los 500 nanómetros según las normativas y estudios vigentes).

El proceso de toma de medida requiere de un trabajo de campo exhaustivos de todas sus calles e infraestructuras urbanas iluminadas para la recolección de datos. La relevancia de esta herramienta crece significativamente con la cantidad de datos medidos e incorporados a la misma y la continuidad de la misma. La existencia de zonas intercaladas sin medir restara mucho su capacidad de análisis y de toma de decisiones, especialmente en todas las cuestiones dependiente de la homogeneidad de parámetros -luminancia, temperatura de color y CRI) que son, precisamente, las que menos se han analizados y cuestionado hasta el momento. En base a la toma de valores realizadas en la parte experimental del estudio, existen en la actualidad una falta de uniformidad significativa en estos tres parámetros (especialmente en los dos últimos) con saltos constantes y bruscos de estos dos valores en calles contiguas con diferentes equipos de iluminación instalados.

Esta plataforma debería de actuar como guía para una posible recolocación de luminarias o para elegir adecuadamente nuevos equipos a utilizar para futuros procesos de renovación parcial o mantenimiento correctivo de la instalación.

6.Bibliografía

- ANFALUM, C. T. (Diciembre de 2016). Iluminación de carreteras Parte 3: Cálculo de prestaciones. UNE-EN 13201-3 . Madrid, Madrid, España: AENOR.
- Álvarez, L. A., & Cordeo, F. (2002). El SIG municipal como elemento integrador de información interdepartamental.
- Baño Otalora, B. (s.f.). Efectos de la contaminación lumínica sobre la salud humana. Convención el cambio climático y el medio urbano (págs. 1-5). Universidad de Murcia.

- Cerda, J., & Valdivia, G. (2007). John Snow, la epidemia de cólera y el nacimiento de la epidemiología moderna. *Revista chilena de infectología*, 24(4), 331-334.
- Coll, E., Martínez-Llario, J., Femenia-Ribera, C., & Mora-Navarro, G. (2010). Los SIG en la administración local. *Catastro: formación, investigación y empresa* (pág. 12). Universidad de Jaén.
- Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible. (s.f.). Web Oficial Junta de Andalucía. Recuperado el 11 de abril de 2019, de http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal_web/web/temas_ambientales/atmosfera/contaminacion_luminica/5_iluminacion/indice_espectral_G/descripcionindiceg_090419.pdf
- España. Real Decreto 243/1992, de 13 de marzo, por el que se aprueba el Reglamento de la Ley 31/1988, de 31 de octubre, sobre protección de la calidad astronómica de los observatorios del Instituto de Astrofísica de Canarias. [Internet] *Boletín Oficial del Estado*, 21 de abril de 1992, num. 96, pp. 13330-13332 [consultado 11 abril 2019]. Disponible en: <https://www.boe.es/boe/dias/1992/04/21/pdfs/A13330-13332.pdf>
- Gandolfo de Luque, M. (2011). Luz blanca y led: soluciones sostenibles para unas ciudades más habitables. *Revista del Colegio Oficial de Físicos*, 21, 40-41.
- García Fernández, J., & Boix, O. (1999). Luminotecnia Iluminación de Interiores y Exteriores. Recuperado el 10 de abril de 2019, de <https://recursos.citcea.upc.edu/llum/indice.html>
- Gustems, L., & Carreras, J. (2014). Radiaciones perjudiciales para el medio ambiente emitidas por lámparas. *Luces*, 12-17.
- Herranz Dorremochea, C., Ollé Martorell, J. M., & Jáuregui Sora, F. (2011). La iluminación con LED y el problema de la contaminación lumínica. *Astronomía. Época II*(144), 36-43. Recuperado el 2019 de abril de 10 de <https://www.celfosc.org/biblio/general/herranz-olle-jauregui2011.pdf>
- Lara, E. L., Simeón, C. P., & Navarro, J. G. M. (2004). Los sistemas de información geográfica. *Premium Light Pro*. (1 de junio de 2018). <http://www.premiumlightpro.es/>. Recuperado el 2019 de abril de 12, de <https://www.idae.es/file/13997/download?token=q2TGOuR>
- Sanjuán Sánchez, E., Molina Jiménez, T., Faus Talavera, F., & Valero Villar, E. (noviembre de 2018). Smartlighting. (M. Prieto Sanz, Ed.) Recuperado el 10 de abril de 2019 de <https://magazine.smart-lighting.es/wp-content/uploads/2018/11/report-01-leds-cromaticas-candeltec-def.pdf>
- Vargas Guevara, C. L., Rodríguez Mora, K., Guamán Molina, J., & Ríos Villacorta, A. (2017). Sistema de Iluminación Fotovoltaico en el Alumbrado Público Gestionado a través de una Plataforma Cloud/GIS. *Revista Politécnica*, 39(1), 59-66.